

基于钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用分析

张凯

湖南天福项目管理有限公司

摘要: 钻孔灌注桩施工技术本身具备施工造价低、操作简便等优势,目前在公路桥梁工程中被广泛应用。本文以实际案例为依托,探讨在具体的公路桥梁施工作业中,钻孔灌注桩施工技术的具体应用,以供相关工程及人员参考。

关键词: 钻孔灌注桩;公路桥梁;施工技术;技术应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.07.041

前言

钻孔灌注桩施工工艺是利用相应的钻机和设备,采用钻孔开挖技术进行施工,在钻孔中设置钢筋笼,再进行混凝土的成桩。它在高速公路桥梁建设中的运用,一方面可以保证其施工质量;同时,它还可以提高工程结构的寿命,对于整个社会的发展都是十分重要的。但在工程实践中,由于其施工过程中存在着较大的隐蔽性,容易导致施工中的某些小细节被忽视,造成了质量与安全隐患;这将对工程的整体质量产生很大的影响。为此,有关单位要严格遵守规范,科学操作,确保钻孔灌注桩在公路桥梁工程中的应用效果。

一、工程背景

某市区内河流域水环境综合整治工程,该工程重点为桥梁改建工程,规划道路等级为城市次干路,设计桥梁的宽度为31m。该桥梁分为左右两幅设置,其中单幅的桥梁宽度为15.5m,横断面布置形式为:人行道及栏杆(3.5m)+车行道(11.5m)+栏杆式分离带(1m)+车行道(11.5m)+车行道(11.5m)。左右两幅的横坡向外角度为1.5%,人行道横坡为向内2%。整个桥梁的上部结构为钢筋混凝土组合梁,利用标号C40的混凝土设计桥墩,利用标号C30的混凝土设计承台与桩基。桥梁的下部结构采取整体墙式桥墩,上部设有13个排架小墩柱,并利用扩大截面的柱头设计小墩柱与钢梁的交接位置,桥台采取重力式。桥梁安全等级设计为一级,设计基准使用年限为100年。

二、基础设计

(一) 桥梁地基基础方案分析与评价

结合勘察报告的内容,本次工程建议采取钻孔灌注桩基础,该技术应用的施工方案分析如下:

(1) 持力层的选择与评价。结合现场勘查方案的综合分析,根据改建桥梁的结构特点和荷载特征,本工程建议桩端的持力层选择为第6层的中风化岩层,该层次不仅在钻孔揭露的范围内,同时也不存在任何软弱岩层和破碎岩体等问题。作为持力层之后,桩端应当进入到该持力层1m以上的深度。

(2) 桩型、施工工艺的选择与评价。结合改建拟建的现场地质条件,本次可采取机械成孔工艺,优先利用旋挖钻机,且考虑到现场勘察期间所揭露的岩层中有

钙质的砂岩和硅化砂岩夹层、分布不均匀,因此,本次建议采取冲击钻机配合钻进。结合本工程的地基土层实际情况分析,初步拟定的桩径为1.2m,承台的埋置深度为1.5m,桩体长度初步拟定为16m(考虑到承台的高度和桩端买入持力层深度)^[1]。

(3) 成桩可能性分析与评价。拟建的桥梁工程建议以第6层中风化基岩层作为桩端持力层,上部的土层对于整个桩基没有太大的影响,且随着入土的深度逐渐增加,成桩的难度也会随之提升^[2]。随后再穿越全~强风化基岩层一直到中等风化基岩层过程中,成桩的难度会增加,特别是进入到强~中风化砂岩或者是硅化夹层中时,可能会选择利用冲击设备进行钻进成桩。

(二) 单桩竖向承载力特征值

本次取 R_a 为单桩竖向承载力特征值,根据下列公式进行计算:

$$q_r = m_0 \lambda [f_{a0}] + K_2 \gamma_2 (h - 3) = 0.7 \times 0.7 \times [500 + 5 \times 18 \times (16 - 3)] = 818.3 \text{ kPa}$$

$$[R_a] = \frac{1}{2} u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + A_p q_r = 0.5 \times 4463.57 + 1.131 \times 0 = 2231.79 \text{ kN}$$

(三) 桩数和平面位置的确定

结合桥梁上部荷载的资料,再经过计算得到桩基顶部最不利的组合竖向力为8563kN,我们假设承台尺寸为15.5m×2.2m×1.5m,平均容重为25kN,那么承台本身的自重则为15.5×2.2×1.5×25=1278.75kN。由公式:

$$n = \mu N / [p]$$

其中N表示作用在承台底面的竖向荷载;[p]表示单桩的容许力;μ表示偏心荷载多桩受力不均匀系数。

$$\text{计算得出本次桩体的数量为 } n = \frac{1.2 \times 8563}{2231.79} = 4.6,$$

n取整数则为5根,再由相关规范规定桩间距,桩体之间的中心点距离应当≥桩径的2.5倍,因此,本次取值 $s_a = 2.5d = 2.5 \times 1.2 = 3\text{m}$ 。

(四) 确定桩体的长度

确定了桩体的平面布置、桩体数量和承台尺寸之后,结合所确定的数据参数计算,得到单桩桩顶的最不利荷载值,计算得出,当采取5根1.2m直径的钻孔灌注桩时,单桩桩顶部的最不利荷载为800.66kPa,因此可以按照单桩的轴向受压容许的承载力经验公式来反算桩体的长度,经过计算,确定最终桩体的长度为15.6m。

(五) 验算承载力

根据上述桩体长度的计算过程得知,单桩的竖向承载力满足施工要求,也就是桩底单桩轴力 $P = \text{桩顶轴力} + \text{系数} \times \text{负摩阻力} + \text{桩基总重量} - \text{桩基扣除重量} = 1275.34 + 0 + 458.72 - 0 = 1734.06 \text{ kN} \leq 2231.79 \text{ kN}$ 。

(六) 验算承载力

当对桩基础的沉降进行计算时, 荷载值需要取准永久值, 其等于 $0.75 \times$ 标准值。而对于桩体之间的距离 ≤ 6 倍桩径的基础时, 可以利用等效作用分层总和的方法来计算求解最终的桩体沉降量。结合上述计算可以明确, 墩台容许的均匀总沉降量为 $2.0\sqrt{L_c}$ cm, 当 $L < 25$ cm时, 取值为25cm, 那么此时容许的总沉降量则为 $[\Delta] = 2.0\sqrt{25} = 10$ cm。

上部竖向的荷载准永久值为 $F_p = 0.75 \times 8563 = 6422.25$ kN;

群桩桩顶的平均沉降计算公式为: $S = \Psi_e \Psi S;$

根据已知条件, $S_a/d=3, l/d=13, L_c/B_c=7,$ 结合规范取值:

$\Psi = 1, C_0 = 0.327, C_1 = 1.771, C_2 = 4.361, n_b = 1,$

$$\Psi_e = C_0 + \frac{n_b - 1}{C_1(n_b - 1) + C_2} = 0.327 + \frac{1 - 1}{1.171(1 - 1) + 4.361} = 0.327$$

再根据excel软件编写计算公式, 输入相关参数之后, 最终计算出桩基沉降为3.48mm。且本工程南段桩基础方案采取5根 $\phi 1.2$ m钻孔灌注桩施工期间, 其桩基中点沉降量 $s = 3.48$ mm < 100 mm, 满足要求。在上述关系与参数均计算清楚且满足施工要求后, 开始实施钻孔灌注桩的施工作业。

三、钻孔灌注桩施工工艺

(一) 制作与埋设护筒

在钻孔之前, 为确保桩机在施工期间能够竖向钻孔, 并能有效地防止桩机、吊锤等在孔口附近工作时所产生的载荷和冲击, 导致孔洞坍塌, 需要安装钢护套。在埋护套管时, 首先用挖掘机开挖护套, 用旋挖机进行钻孔, 其直径要大于钻头的20cm; 根据桩位所处的地质条件和水位条件, 确定护套长度。通常, 套管的顶部要比地表高0.3m或比地下水位高1.5m, 并确保钻孔中的泥浆高度总是在井外。护套桩位置的容许误差不能超过5cm, 倾斜不能超过1%^[3]。在拆掉护管之前, 必须在桩身混凝土强度超过设计强度25%的情况下, 方能拆除钢护套。该项目选择了内径1400mm、高600mm、厚度6mm的钢护套, 经勘察结果可知, 最大孔高差为6.06m, 故护套管应选择6m, 并在钢护管上开一道溢浆孔。在套管埋入过程中, 必须严格控制套管的竖直, 从而在一定程度上确保钻井成孔的施工质量。

(二) 选择合适的成孔工艺

1. 选择护壁工艺

通过钻孔灌注桩的施工, 证实了在不稳定的沙质土壤中, 即使是在不稳定的沙质土壤中进行钻孔, 也可以达到几十米的深度。根据地质情况, 采用钻孔内水头压护墙方法可将其划分为清水护墙和泥浆护墙。根据地质调查结果, 以6层中的风化岩层为基桩, 在地表高度不低于16m的情况下, 进行了桩端承载。桩长比较长, 按施工地区气候情况, 5-7月是多雨季节, 而该项目的桩

按5~6月份的时间进行施工。

总之, 为了确保在施工过程中, 为了确保钻孔桩的安全和质量, 不发生塌孔, 不影响施工进度, 采用了泥浆护壁成孔的方法。由于施工场地狭窄, 排架墩与排架墩的最小距离只有10m, 筑岛场地不能挖出泥浆池, 在现场做两个固定的铁板泥浆池, 用于桩基础建设。在桩基附近设置一个3级沉淀池, 直径10.0*8.0*1.5m, 泥浆回收, 周围有栅栏, 密封。泥浆的选用要考虑到施工场地的地质、孔位、钻机的性能、钻井液的材质等因素^[4]。对于地质条件复杂、地层厚度大、护管无法沉入地层时, 建议采用PHP钻井液。在砂质土层、粉砂土层、地下水位较高的区域, 应用旋挖钻机进行钻井作业时, 必须选用性能优良的泥浆, 以抑制地下水、悬浮钻渣、稳定孔壁、预防塌孔。

2. 钻孔施工

本工程选择旋挖机进行成孔施工作业, 在施工期间会根据电子控制与人员观察等方法保障钻机成孔自身的垂直度, 且在钻进期间, 需要对钻机的钻进速度进行严格控制, 避免由于钻进过快导致塌孔的问题出现。且还需要注重检测泥浆的各项指标, 如果其指标不合格, 需及时调整, 保障桩基成孔的质量。

(三) 制作与安装钢筋笼

先对施工场地进行硬化处理, 随后利用钢筋焊接制作成简单的支架, 面积一般为10m \times 15m的范围。由于该项目的钢筋笼都是在岸边进行的, 为了确保将其从岸边运送到工地, 将钢筋笼分成两节进行制作, 运送至工地后再利用机械将其结合在一起。该技术能显著地提高施工效率、缩短钢筋笼安装时间、降低塌孔危险、降低钻孔中的沉渣量^[5]。

钢筋笼吊梁的安装和计算一般选用HPB235圆钢, 其直径6mm, 焊接性能良好, 经计算, 6mm圆钢的吊装能力 $F = 2 \times 270 \times 3 \times 3 \times 3.14 = 15260.4$ N, 相当于承担1.557吨的重量, 满足钢筋笼吊放要求。吊索应设置在加固带上, 并用双面焊接牢固地焊于钢筋笼的主筋, 另一端要焊接成圆形, 便于运输。钢筋笼的吊起由25T的车辆吊起, 吊索要有两个吊点, 吊点的位置要适当, 要安装在加劲箍上。在钢筋笼吊装过程中, 必须对齐孔位, 并控制其垂直度, 缓慢下降, 避免钢筋笼被强行放入。

(四) 选择旋挖桩清孔工艺

1. 第一次清孔工艺

正循环清孔技术的成本要比反循环、反循环清孔技术低得多; 同时, 由于首次清孔时不需要对沉淀的厚度进行量化, 一次清孔的目标是将微粒从孔中排出, 采用正循环清孔工艺, 将泥浆浓度控制在1.2~1.4以内即可达到要求。

2. 二次清孔

泥浆的比重降低到1.1到1.2之后再次进行清孔工作, 本工程对桩位1号、3号和5号利用正循环、气举反循环、泵吸反循环三种清孔工艺进行清孔工作, 随后分析清孔的效果, 比较测量的结果, 选择适合本工程的清孔工艺, 所测量的数据结果如表1所示:

通过对以上资料的分析, 发现在1、3、5号旋挖桩

表1 清孔方式对比

桩号	桩径 (mm)	孔深 (m)	正循环清孔		泵吸反循环		气举反循环	
			清孔时间 (h)	沉渣厚度 (mm)	清孔时间 (h)	沉渣厚度 (mm)	清孔时间 (h)	沉渣厚度 (mm)
Z3-1	1200	15.86	5	68	0.5	35	0.3	18
Z3-3	1200	15.80	5	65	0.5	28	--	--
Z3-5	1200	15.78	5	72	--	-	0.3	15

的直径为1200mm的旋挖桩，采用正向循环的方法进行了5个小时的清孔，结果表明，该钻孔的沉渣厚度约为70mm，不能满足旋挖桩清孔的要求；从表1可以看出，气举式反循环清孔法和泵吸反循环清孔法测量的渣层厚度不超过50cm，符合工程质量要求。同时，利用气举-反循环清孔技术，不但耗时比抽吸反周期短，而且沉淀层厚度小，表明使用气举-反循环清孔技术清孔速度快。

3. 第二次清孔选择

根据对本工程的工艺分析得出，气举反循环和泵吸反循环清孔工艺都达到了质量要求，与气举反循环清孔工艺相比，泵吸反循环清孔工艺具有较低的成本和较高的安全性。结合工程造价和安全性等因素，采用了泵吸反循环清孔工艺。在图1中显示了是够流程。二次清孔时，除确保渣层厚度达到规定外，还应注意泥浆的各项性能指标，最终清孔泥浆的相对密度通常为1.05~1.10，黏度为16~20S，含沙量为<3%。在测定了沉渣和泥浆各项指标符合规定后，立即进行水下混凝土灌注。

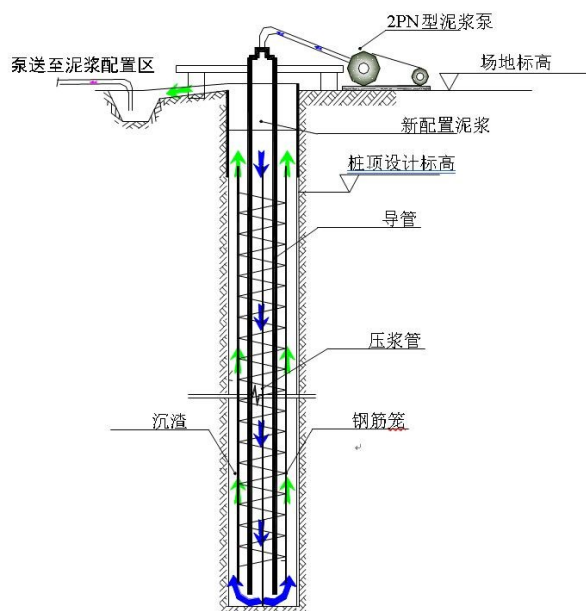


图1 泵吸反循环清孔示意图

(五) 沉渣检测

在测定沉渣厚度时，一定要使用适当的测量手段，否则会影响到沉积物的厚度。在此项目中，采用了吊锤式测绳方法对钻孔底部的沉渣进行了检测。第一次测量时，先把3kg的测量锤插入孔内，待测到孔底时再缓慢下降，直至沉淀层顶部，这时记录首次测得的沉积物厚

度；第二次测量时，将测锤放入井底，并将测井的深度记录在案。通过两次实测值的减法，得出的沉渣厚度为35cm，达到了设计要求。

(六) 水下混凝土浇筑工艺的研究

二次清孔渣的深度达到要求后，必须在水下进行混凝土浇筑。混凝土为C30型水下砼，其坍落度应控制在180~220mm之间。在注入之前，导管底部与孔底的间距应保持在0.3m以内，第一次浇筑时，导管的深度应超过0.8m。导管在使用之前必须进行装配，并进行防水测试。混凝土的初灌量为3m³，随桩长的变化而变化。根据桩长的不同，为了确保混凝土的质量，必须对导管的长度进行准确的计算；导管埋入深度为2~6m。该项目的桩长为16m，经计算，导管采取的长度应为4m、2m、4m和6m。在混凝土水下灌注时，应注意控制混凝土的充填速率、导管与孔底距离、混凝土质量、导管埋设深度等因素，确保混凝土的质量。

(七) 检测方式

桩身的完整性主要是指桩身的长度与截面的尺寸、桩身的材料密实性与连续性整体的状况，结合现场实际情况选择适合的检测方法手段。本工程由于紧张的工期限制，在检测期间仅采取低应变法来检测桩基的完整性。

结语

综上所述，目前，钻孔灌注桩已在公路桥梁工程中得到了广泛的应用，但在实践中仍有许多缺陷，有待于进一步完善。有关部门应该加强对这一技术的研究，使其在实际中得到充分的利用。有关施工单位在运用此项技术进行施工时，必须严格遵守施工计划，严格控制施工质量，尽量避免在施工中发生的各类意外，为促进我国的交通事业健康发展、人民的安全出行，公路桥梁建设质量提升提供重要技术保障。

参考文献

[1] 徐孝辉. 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用[J]. 工程技术: 文摘版, 2020.
 [2] 蒋光远. 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用[J]. 交通科技与管理, 2022(5): 3.
 [3] 江海峰. 浅谈钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用[J]. 科技经济导刊, 2020(2): 1.
 [4] 殷辉. 公路桥梁施工中钻孔灌注桩的质量控制措施探析[J]. 中国设备工程, 2021(11): 2.
 [5] 刘振普. 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用[J]. 工程技术研究, 2021, 6(18): 2.

作者简介：张凯（1981-08-03），男，汉，湖南长沙，本科，目前职称：中级工程师，工作方向：工程监理。